

2

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY PATENTU TYMCZASOWEGO

72437

Patent tymczasowy dodatkowy
do patentu _____

Kl. 42h, 38

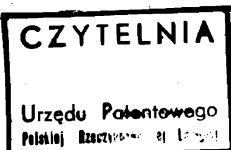
Zgłoszono: 02.10.1971 (P. 150873)

Pierwszeństwo: _____

MKP G02b 5/18

Zgłoszenie ogłoszono: 30.05.1973

Opis patentowy opublikowano: 15.11.1974



Twórca wynalazku: Stanisław Kozikowski

Uprawniony z patentu tymczasowego: Wojskowa Akademia Techniczna
im. Jarosława Dąbrowskiego, Warszawa
(Polska)

Sposób wytwarzania holograficznych siatek dyfrakcyjnych za pomocą promieniowania laserowego

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania holograficznych siatek dyfrakcyjnych za pomocą promieniowania laserowego.

Znany jest sposób wytwarzania holograficznych siatek dyfrakcyjnych polegający na zarejestrowaniu na materiale światłoczułym obrazu linii interferencyjnych, uzyskanego w wyniku interferencji dwóch wiązek światła spójnego, promieniowania laserowego.

W zależności od promieni krzywizny powierzchni falowych tych wiązek, uzyskuje się różne własności optyczne tak otrzymanych siatek dyfrakcyjnych, co wiąże się z krzywizną zapisywanych linii.

W sposobie tym uzyskany obraz linii interferencyjnych traktuje się jako hologram pojedynczego punktu przy punktowym źródle odniesienia. O właściwościach optycznych takiej siatki holograficznej decyduje lokalizacja zapisywanego punktu względem hologramu. Przy niewielkiej odległości rejestrowanego punktu uzyskuje się siatki samoogniskujące. Siatki te rozkładając przestrzennie analizowane widmo, ogniskują poszczególne jego linie spektralne w punktach, gdyż każda składowa spektralna analizowanej wiązki stanowi osobną falę rekonstruującą, niezależnie od innych składowych, swój obraz punktowy z hologramu—siatki. Przy dużych odległościach punktu od hologramu, uzyskuje się siatkę nieogniskującą, gdyż krzywizna otrzymywanych prążków interferencyjnych jest znikoma, a tym samym moc optyczna siatki jest bliska zera.

Stosunek natężeń interferujących wiązek światła spójnego, z których jedna stanowi wiązkę informacyjną, a druga wiązkę odniesienia, wynosi od 5–10.

Zapewnienie tak dużej tolerancji stosunku natężeń wiązek światła wystarcza dla obiektów rozciągniętych. Natomiast dla obiektów punktowych, których hologramy stanowią siatki dyfrakcyjne, tolerancja ta prowadzi do zanizonego kontrastu siatki holograficznej, a tym samym do małej wydajności dyfrakcyjnej.

Zwiększenie wartości ekspozycji dla powiększenia kontrastu linii w hologramie prowadzi do prześwietleń, a przez to do pojawiania się wyższych harmonicznych nominalnej częstości przestrzennej. W procesie wytwarzania takich siatek dyfrakcyjnych zdarza się, że każdy egzemplarz siatki wykazuje inną ilość rzędów dyfrakcji i odmienne wydajności dyfrakcyjne w poszczególnych rzędach.

Wynika z tego, że znany sposób wytwarzania siatki dyfrakcyjnej jako hologramu obiektu punkowego prowadzi do dużego rozrzutu jakości produkowanych tym sposobem siatek.

Co więcej uzyskanie tej samej jakości siatek w różnych układach i na różnych materiałach jest niemalże niemożliwe, a to z tego powodu, iż stosunki natężeń w wiązkach mierzy się za pomocą mierników mocy promieniowania umieszczonych w płaszczyźnie hologramu, a najlepsze spośród takich mierników, z samej natury pomiaru fotometrycznego, mierzą z dokładnością nie lepszą niż 10–15%. Tym samym mimo identycznych wskazań mierników przy cechowaniu dwu identycznych układów, różnice parametrów energetycznych tych układów mogą wynosić 40–60%, co z punktu widzenia uzyskania na różnych stanowiskach serii powtarzalnej jakości siatek dyfrakcyjnych jest bardzo istotną wadą.

Sposób według wynalazku daje następujące korzyści: wyeliminowanie konieczności przeprowadzania bezpośrednich pomiarów natężeń interferujących wiązek oraz cechowania toru każdej z wiązek, co polega na znalezieniu współczynników osłabienia każdej z wiązek przy przechodzeniu przez płytkę światłodziącą, obiektywy i filtry wycyszczające oraz uwzględnieniu stanów polaryzacji powstałych w wyniku przechodzenia wiązek przez różne elementy o odmiennym działaniu depolaryzującym.

Przez spełnienie warunków określonych przez wyniki cechowania oraz tych samych parametrów obróbki fotochemicznej co i w procesie cechowania uzyskuje się powtarzalność założonych parametrów siatek dyfrakcyjnych, a więc ten sam kontrast i tę samą wydajność dyfrakcyjną w poszczególnych rzędach.

Przy zachowaniu stałości parametrów w procesie odbielania uzyskuje się fazowe siatki dyfrakcyjne również o bardzo dobrej powtarzalności ich parametrów. Daje to możliwość uzyskiwania także siatek odbiciowych bardzo dobrej powtarzalności przez napylenie na powierzchnię siatki fazowej cienkiej warstwy metalu.

Sposób według wynalazku pozwala na uzyskanie siatek dyfrakcyjnych o dowolnych założonych własnościach, a więc różnej dyspersji, różnym działaniu samoogniskującym, różnych wydajnościach dyfrakcyjnych w poszczególnych rzędach, siatek amplitudowych i fazowych oraz odbiciowych, a także siatek działających na zasadzie Lippmana–Bragga i wobec możliwości zapewnienia doskonałej powtarzalności ich parametrów w dowolnych seriach, staje się możliwym stosowanie siatek produkowanych tym sposobem w wysokiej klasy przyrządach spektralnych, co znacznie upraszcza i potania produkcję takich przyrządów.

Wynalazek zostanie bliżej objaśniony na podstawie załączonego rysunku, na którym fig. 1 przedstawia układ holograficzny stosowany do wytwarzania siatek dyfrakcyjnych, sposobem według wynalazku, fig. 2 przedstawia wykresy transmisji materiału światłoczułego w funkcji logarytmu ekspozycji, fig. 3 przedstawia wykres zapisywanego na materiale światłoczułym wypadkowego natężenia interferujących wiązek promieniowania laserowego w funkcji różnicy faz tych wiązek, a fig. 4 przedstawia charakterystyki z fig. 2 i fig. 3 w układzie pozwalającym na określenie parametrów zapisu holograficznego.

Do przeprowadzenia cechowania densytometrycznego konieczny jest pomiar całej mocy I_0 promieniowania lasera jeszcze przed podziałem wiązki w układzie. Wartość I_0 pomnożona przez czas ekspozycji t daje wielkość H' proporcjonalną do wielkości ekspozycji H :

$$H = \alpha \cdot H' \quad (1)$$

gdzie współczynnik proporcjonalności α określony jest przez parametry geometryczne układu.

Z uwagi na logarytmiczne działanie funkcyjne ekspozycji, przebieg krzywej charakterystycznej jest taki sam w funkcji H co i w funkcji H' , a przy zachowaniu stałej wartości I_0 przebieg ten będzie również taki sam w funkcji czasu t .

Pierwszy etap cechowania polega na wykonaniu na badanym materiale fotograficznym szeregu naświetleń przez szczelinę densytometryczną SD w zakresie od obszaru niedoświetleń i zadymienia do obszaru prześwietleń, raz za pomocą wiązki 1, przy zasłoniętej wiązce 2, a następnie odwrotnie za pomocą wiązki 2 przy zasłoniętej wiązce 1.

Wszystkie elementy optyczne i stosunki geometryczne w układzie powinny być przy tym te same co później, już podczas wykonywania siatek, z wyjątkiem płytki światłodziącej PS , której właściwą dokładną wartość transmisji uzyskuje się dopiero w wyniku tego cechowania. Uzyskane w wyniku naświetleń zaczernienia poddaje się fotometrycznemu, którego wyniki służą do sporządzenia krzywych charakterystycznych stanowiących wykresy transmisji T materiału światłoczułego w funkcji logarytmu ekspozycji (fig. 2). Krzywa 1' otrzymana została w wyniku cechowania wiązką 1, zaś krzywa 2' – wiązką 2. Przesunięcie tych krzywych pochodzi stąd, że operuje się tu względnymi jednostkami ekspozycji H ; dla jednostek bezwzględnych krzywe te pokrywałyby się.

Na skutek przechodzenia wiązek przez elementy optyczne, w płaszczyźnie płyty fotograficznej do obszaru objętego szczeliną densytometryczną SD dochodzi efektywny strumień promieniowania I_{ef} , który jest proporcjonalny do pierwotnego strumienia z lasera I_0 .

Dla każdej z wiązek będzie odpowiednio:

$$I_{ef1} = I_0 \cdot E_1 \quad (2)$$

$$I_{ef2} = I_0 \cdot E_2$$

gdzie E_1, E_2 oznaczają współczynniki wykorzystania energii strumienia I_0 w poszczególnych wiązkach, określone przez straty i depolaryzację na wszystkich elementach toru danej wiązki.

W wyniku doświadczenia stwierdzono, że w przypadku tak przeprowadzonego cechowania stosuje się tu bardzo dobrze prawo Bunsena—Rascoego, wg którego ustaloną wartość ekspozycji H można osiągnąć w różny sposób zmieniając strumień energii I_0 oraz czas ekspozycji t , przy zachowaniu stałej wartości iloczynu $I_0 \cdot t$. Wobec tego, odpowiednio dla każdej z wiązek, można napisać:

$$\begin{aligned} H_1 &= I_{01} \cdot t_1 \cdot E_1 = I_{ef1} \cdot t_1 \\ H_2 &= I_{02} \cdot t_2 \cdot E_2 = I_{ef2} \cdot t_2 \end{aligned} \quad (3)$$

Ażeby otrzymać jednakowe zaczerpienie należy wykonać identyczne ekspozycje, a zatem na przykład dla $T = 50\%$ z (fig. 2) ekspozycje H_1 i H_2 w jednostkach bezwzględnych powinny być sobie równe, tj.:

$$I_{01} \cdot t_1 \cdot E_1 = I_{02} \cdot t_2 \cdot E_2$$

skąd:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_{02} t_2}{I_{01} t_1} = \frac{I_{ef1}}{I_{ef2}} \mathcal{H} \quad (4)$$

Wyodrębniając ze współczynników E_1 i E_2 wykorzystania wiązek, współczynniki określające parametry płytki światłodzielnicy można napisać:

$$\begin{aligned} E_1 &= R \cdot E_1 \\ E_2 &= \tau \cdot E_2 \end{aligned} \quad (5)$$

gdzie R i τ oznaczają odpowiednio współczynniki odbicia i transmisji płytki światłodzielnicy, zaś E_1, E_2 są współczynnikami wykorzystania wiązek już po podziale przez płytkę PS, które nie ulegają już żadnym zmianom, a stosunek efektywnych strumieni $\mathcal{H}$ należy zmieniać tylko zmieniając płytkę PS na inną, o innych parametrach R i τ . Wobec tego można zdefiniować stałą β danego układu holograficznego jako:

$$\beta \equiv \frac{E_1}{E_2} = \frac{E_1}{E_2} \cdot \frac{\tau}{R} = \frac{\tau}{R} \mathcal{H} \quad (6)$$

Stąd stosunek efektywnych strumieni $\mathcal{H}$

$$\mathcal{H} = \beta \cdot \frac{R}{\tau} \quad (7)$$

Jako płytkę światłodzielną stosuje się filtr dielektryczny, którego absorpcja jest całkowicie zaniedbywalna, wobec czego

$$\tau + R = 1 \quad (8)$$

a zatem $\mathcal{H}$ można wyrazić następująco:

$$\mathcal{H} = \beta \cdot \frac{1 - \tau}{\tau} \quad (9)$$

Wprowadzona wielkość $\mathcal{H}$ jest parametrem, którego wartość określa się na podstawie zdjętej krzywej charakterystycznej materiału światłoczułego, natomiast β jest stałą układu zdefiniowaną przez wyrażenie (4). Cechowanie to pozwala na jednoczesne precyzyjne określenie wielkości $\mathcal{H}$ i β a ponadto, na podstawie zależności (9), na dokładne określenie parametrów płytki światłodzielnicy.

$$\tau = \frac{\beta}{\mathcal{H} + \beta} \quad (10)$$

Optymalną wartość stosunku efektywnych strumieni $\mathcal{H}$ uzyskuje się w sposób następujący:

Natężenie wypadkowe w polu interferujących dwóch wiązek (fig. 3) o natężeniach I_1 i I_2 określa wyrażenie:

$$I = I_1 + I_2 + 2\gamma \sqrt{I_1 I_2} \cos \delta = a + b \cos \delta, \quad (11)$$

gdzie δ jest różnicą fazy, a γ – stopniem wzajemnej spójności, natomiast

$$a = I_1 + I_2, \quad b = 2\gamma \sqrt{I_1 I_2}. \quad (12)$$

Dla zapewnienia liniowego zapisu sinusoidalnego rozkładu natężeń w obrazie interferencyjnym (fig. 3) wielkość składowej stałej ekspozycji a powinna być tak ustalona, ażeby cosinusoidalny czynnik modulujący o amplitudzie $2b$, nie powodował przekraczania przez sinusoidę granic prostoliniowego odcinka krzywej charakterystycznej wyznaczonych przez wartości $a + b$ i $a - b$ (fig. 3).

Uzyskana w ten sposób siatka dyfrakcyjna posiada również strukturę sinusoidalną, a więc daje ugięcie tylko pierwszego rzędu.

Wydawać by się mogło, że sposób przedstawienia krzywej charakterystycznej na fig. 4 w funkcji H a nie $\log H$ jest niedopuszczalnym przybliżeniem, jednakże, jak sprawdzono to doświadczalnie, liniowy przebieg odcinka roboczego charakterystyki dobrze zachowuje się w tym układzie współrzędnych, a jedynie nachylenie tego odcinka bardzo się zmniejsza.

Warunek liniowego zapisu ustala wartość $\mathcal{H}$, ponieważ

$$\mathcal{H} = \frac{b}{a} = \frac{2\gamma \sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} \quad (13)$$

Dla uzyskania wyższych rzędów ugięcia należy przemodulować ekspozycję tak, ażeby otrzymany w wyniku quasiprostokątny rozkład natężeń w zarejestrowanym obrazie linii siatki, rozkładał się na widmo harmonicznym częstości przestrzennych tylu rzędów ile chcemy mieć rzędów ugięcia, dawanych przez wykonywaną tym sposobem siatkę dyfrakcyjną.

W analizowanym układzie na kontrast prążków interferencyjnych ma wpływ nie tylko stopień spójności ale również w wysokim stopniu depolaryzacja, który to czynnik w sposób ogólny został już uwzględniony w wartości współczynnika E . Można więc założyć, że współczynnik E zawiera również czynnik γ , a w zależności (13) przyjmując $\gamma = 1$, a zatem

$$\mathcal{H} = \frac{2\sqrt{I_1 I_2}}{I_1 + I_2} \quad (14)$$

Dokładne wartości a i b znajduje się również z otrzymanej w powyższy sposób krzywej charakterystycznej. Mianowicie wartość $a - b$ odpowiada punktowi $T_{\max}$ na wykresie $T = f(H)$ (fig. 4), zaś wartość $a + b$ – punktowi $T_{\min}$. Z wykresu odczytuje się wartości efektywnych ekspozycji $H/T_{\max}$ i $H/T_{\min}$. Stąd mamy

$$\begin{aligned} a - b &= H/T_{\max}/ \\ a + b &= H/T_{\min}/ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{2} [H(T_{\max}) + H(T_{\min})] \\ b &= \frac{1}{2} [H(T_{\min}) - H(T_{\max})] \\ \mathcal{H} = \frac{b}{a} &= \frac{H(T_{\min}) - H(T_{\max})}{H(T_{\min}) + H(T_{\max})} \end{aligned} \quad (15)$$

Znalezione wartości a i b po wstawieniu do zależności (12) pozwalają na uzyskanie dokładnych wartości I_1 i I_2 równych odpowiednio I_{ef1} i I_{ef2} , określonych przez zależności (2), a tym samym dostaje się dokładną wartość ich stosunku $\mathcal{H}$. Tak otrzymana wartość $\mathcal{H}$ wraz z uprzednio wyznaczoną stałą β daje poszukiwaną wartość r na mocy zależności (10). W ten sposób zostały precyzyjnie określone wszystkie parametry układu.

Dokładność tego cechowania jest, mimo pozornie skomplikowanej analizy, bardzo duża gdyż wszystkie możliwe błędy kompensują się z uwagi na to, że cechowanie i zapis przebiegają w tym samym układzie.

Zastrzeżenie patentowe

Sposób wytwarzania holograficznych siatek dyfrakcyjnych za pomocą promieniowania laserowego, znamienny tym, że przed zarejestrowaniem na materiale światłoczułym, stanowiącym na przykład płytę fotograficzną, obrazu linii interferencyjnych, uzyskanego w wyniku interferencji dwóch wiązek światła spójnego,

jedną płytę fotograficzną z partii płyt określonego typu materiału światłoczułego, przeznaczonych na siatki dyfrakcyjne, poddaje się cechowaniu fotodensytometrycznemu, w tym samym układzie w którym wykonuje się siatki, kolejno za pomocą tylko jednej z wiązek światła spójnego przeznaczonych do interferencji, a następnie fotometruje się uzyskane zaczerwienienia płyty i sporządza się krzywe charakterystyczne materiału światłoczułego, na podstawie których wyznacza się stosunek natężeń interferujących wiązek światła spójnego oraz czas ekspozycji przy określonym natężeniu promieniowania laserowego.

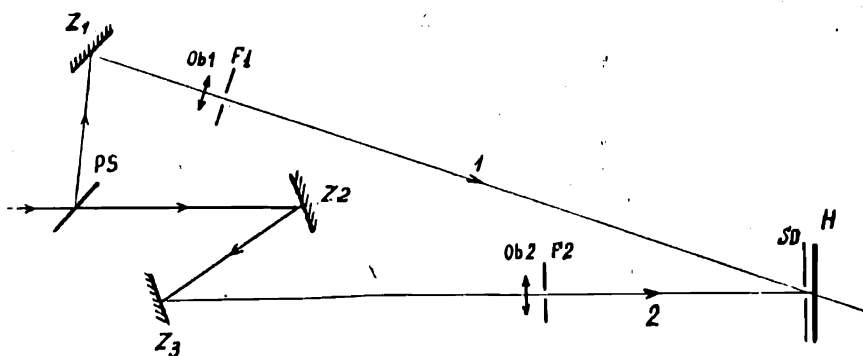


fig 1

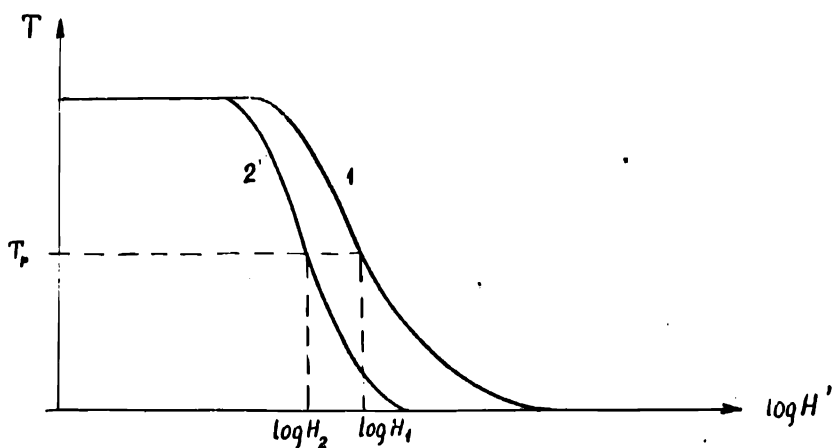


fig 2

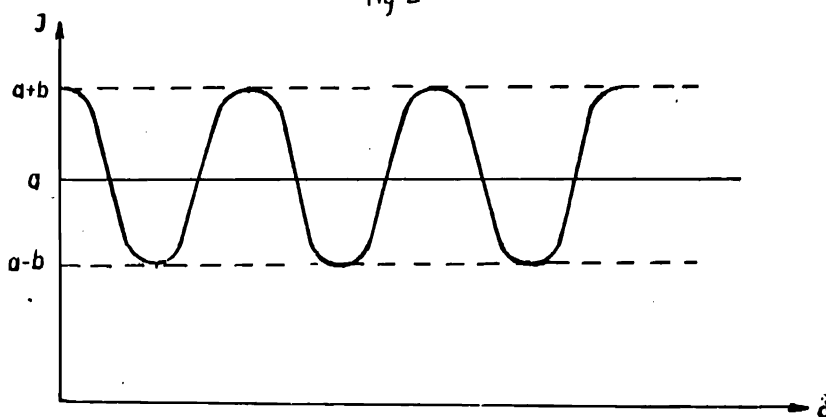


fig 3

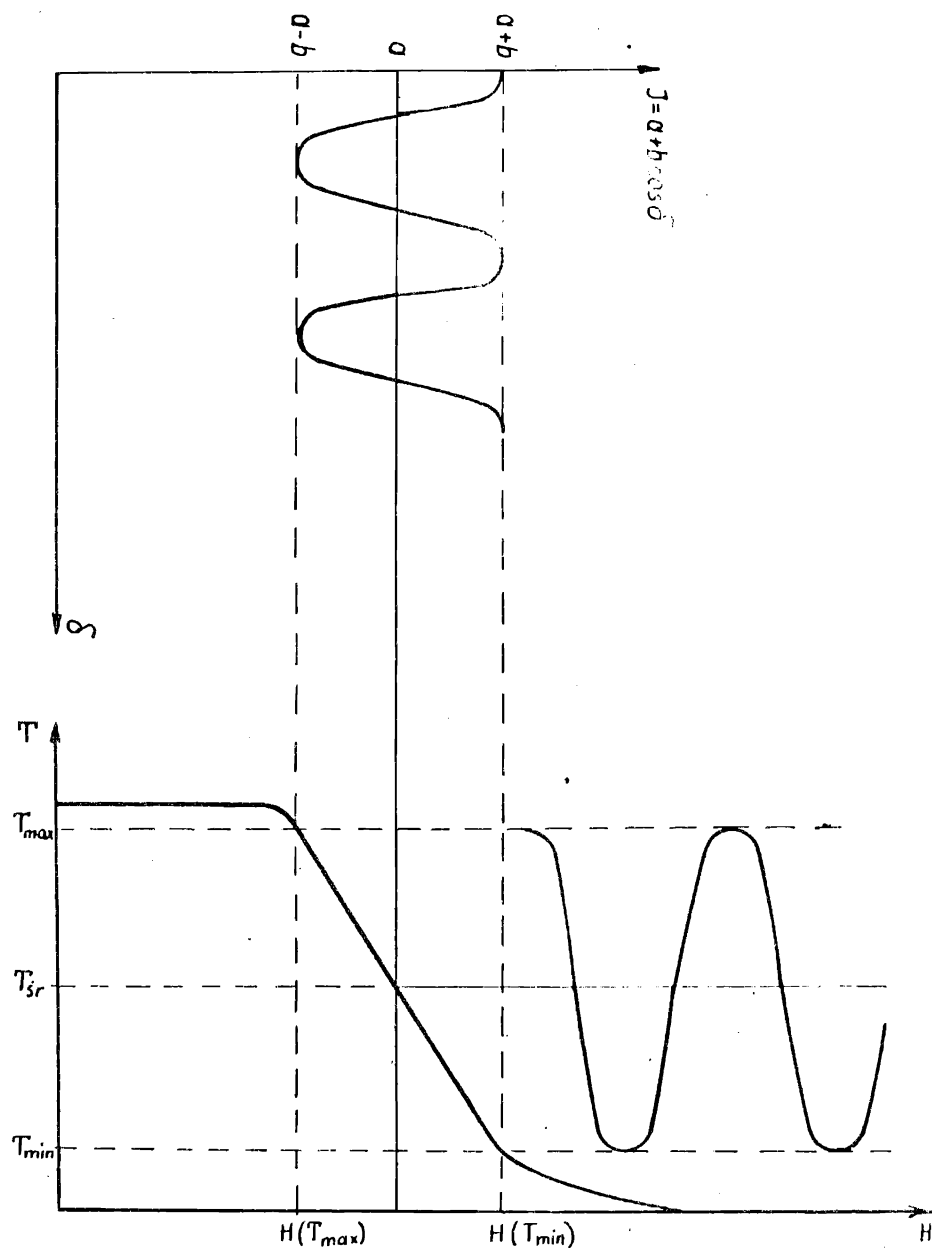


fig. 4